

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-11-75-147>

УДК 62-799

**Резник Д.О., Поліщук І.А.**  
 Національний технічний університет України  
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
**Костанецький К.В.**  
 Компанія IT-Enterprise

## СИСТЕМА ВІБРОДІАГНОСТИКИ, ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ ТА ОЦІНКИ СТАНУ ТУРБОАГРЕГАТУ

**Анотація.** Досліджено особливості та проблематика обслуговування турбоустановок. Досліджено основні методи вібродіагностики турбоустановок. Досліджено перелік несправностей турбоустановок згідно отриманих даних з датчиків вібрації. Досліджено основні проблеми обміну, обробки та збереження інформації в існуючих системах вібродіагностики. Розроблено сервер обміну інформацією системи вібродіагностики турбоустановки по універсальному протоколу обміну даними Modbus TCP для можливості передавати дані системи у хмарне сховище або систему предиктивного аналізу, що дасть можливість зберігати значно більші масиви даних більш ефективно обробляти дані, попереджувати аварійні ситуації, економити кошти не проводячи планово-періодичне обслуговування турбоустановки, що займає значний проміжок часу та заміну і ремонт справного обладнання, а замість цього проводити ремонтні роботи при завчасному попередженні предиктивної системи діагностики про можливу аварійну ситуацію.

**Ключові слова:** вібродіагностика, турбоустановка, обмін даними, прогнозування несправностей, предиктивний аналіз.

**Reznyk Dmytro, Polishchuk Ihor**  
 National Technical University of Ukraine  
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
**Kostanetskyi Kyrylo**  
 Company IT-Enterprise

## VIBRODIAGNOSTIC AND FAILURE PREDICTION SYSTEM OF TURBINE INSTALLATION

**Summary.** The peculiarities and problems of turbo-installation maintenance are investigated. The basic methods of vibration diagnostics of turbines are investigated. The list of turbine plant faults is investigated according to the data obtained from vibration sensors. The main problems of information exchange, processing and storage in the existing systems of vibrodiagnostics are investigated. An analysis of previous publications has shown that there is currently no general solution for the diagnostics, fault prediction and automated servicing of the turbine units. Most of the work describes specific calculations on one of the measurement channels or methods of diagnostics of individual elements of the system without describing the systems for collecting and processing information to prevent emergencies. Modern installations equipped with a vibroanalysis system capable of comparison the measured vibration value at a given time with the permitted range of deviations and, if necessary, informing the operator of the danger and the need to stop the unit, but they do not store large data sets to investigate of turbo-installation behavior and prevent non-standard events. The purpose of this article is to highlight the basic set of vibration parameters required for an automated vibration control system in various turbine operating modes and to propose a method of data transmission for emergency prediction. A turbine system information exchange system for turbo-installation system using the universal Modbus TCP data exchange has been developed for transferring data systems to a cloud storage or predictive analytics system, which will allow to store much larger data sets more efficiently to process data, prevent accidents, save costs planned and periodic maintenance of the turbo-installation, which takes a considerable period of time and replacement and repair of service equipment, and instead carry out repair work and early warning systems, predictive diagnosis of a possible emergency. The advantages of an automated vibration control system are: increase of reliability, service life of equipment, reducing the cost of repair work, improving the efficiency of repair work, early purchase of parts to be replaced.

**Keywords:** vibro diagnostics, turbo-installation, data exchange, failure forecasting, predictive analysis.

**Постановка проблеми.** В даний час у виробництві електроенергії широко використовуються турбоагрегати (сукупність турбіни та електрогенератора), що потребують періодичного планового ремонту з метою перевірки стану турбіни та її компонентів, заміни зношених частин, візуального огляду і т.д. для виключення аварійних ситуацій під час експлуатації. До планового ремонту обладнання висуваються жорсткі вимоги щодо часу витраченого на обслуговування компонентів через високу вартість простою облад-

нання. Погіршує ситуацію те, що кожен плановий ремонт обладнання займає великий проміжок часу через повний огляд системи, а не цілеспрямований на існуючі чи спрогнозовані несправності. Сучасні установки, що обладнані системою віброаналізу здатні зрівнювати виміряне значення вібрації в даний момент часу з дозволеним діапазоном відхилень та в разі потреби повідомити оператора про небезпеку та необхідність зупинки роботи агрегату, але вони не зберігають великі масиви даних для дослідження поводження уста-

новки та попередження нестандартних подій. Мета даної статті висвітлити основний набір вібропараметрів, що необхідні для автоматизованої системи контролю вібродіагностики у різних режимах роботи турбоустановки та запропонувати метод передачі даних для прогнозування аварійних ситуацій. Переваги автоматизованої системи контролю вібродіагностики полягає у:

- підвищенні надійності, терміну експлуатації обладнання;
- зниженні витрат на ремонтні роботи (проведення періодичних ремонтних робіт за вимогою, а не планово);
- підвищенні ефективності ремонтних робіт (зниження часу на ремонт обладнання в наслідок розуміння проблеми виходячи з оброблених даних);
- завчасна закупівля деталей, що підлягають заміні.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Одним з ефективних методів вирішення проблеми підвищення надійності й безпеки використання наявних потужностей з мінімальними витратами є діагностування технічного стану працюючого турбоагрегату за вібраційними параметрами із застосуванням новітніх комп'ютерних засобів та технологій. Доцільність використання засобів діагностики вібрацій для оцінювання технічного стану ТА базується на тому, що вібраційні параметри є найбільше чутливими до появи й розвитку ушкоджень і до змін режимних і тепломеханічних параметрів. Це дозволяє вчасно виявляти й приймати необхідні запобіжні заходи щодо розвитку ситуацій з небезпечними наслідками. Визначення причини порушення стабільності вібраційного стану турбоагрегату, встановлення гранично допустимих значень характерних параметрів вібрації валопроводу й опор, а також визначення моменту обов'язкової зупинки агрегату, є предметом безперервного автоматизованого аналізу і діагностування його вібраційного стану [1].

Вібрацію турбоагрегату вимірюють на всіх підшипникових опорах. Осьову і поперечну вібрацію вимірюють на рівні осі валу турбоагрегату. Вимірювальні датчики прикріплюються до основи підшипника. Вертикальну вібрацію вимірюють на верхній частині кришки підшипника.

Вібросигнал знятий на працюючій машині містить великий обсяг інформації по якому можна зробити висновки про її стан. Сутність діагностики і обслуговування турбоагрегату лежить в ранньому виявленні зароджуваних несправностей, але для ефективного використання віброконтролю в програмі технічного обслуговування необхідно, щоб ця інформація була належним чином вилучена з отриманих вібросигналів. Можливо найбільш відповідальним елементом системи збору вібраційних даних є датчик, що слугує для перетворення механічних коливань в електричний сигнал. Сигнал з датчика має вигляд аналогового часового сигналу, але внаслідок складності форми часового сигналу його інтерпретація ускладнена, тому прийнято аналізувати спектр сигналу, який є представленням часового сигналу у частотній області. В математиці перетворення, що переводить елемент з часової області в частотну називається перетворення Фур'є. Таке перетворення стискає всю

інформацію, що міститься у синусоїдальному коливанні безкінечної довжини до єдиної точки.

При аналізі вібраційних характеристик часто зустрічаються часові реалізації, зрізані у верхній частині. Зазвичай це означає, що виникли деякі послаблення елементів конструкції або деталей і щось обмежує рух ослабленого елемента в одному з напрямків [2].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Аналіз попередніх публікацій показав, що існуючі рішення по системі вібродіагностики турбоагрегатів, мають проблему з прогнозуванням несправностей і автоматизованим обслуговуванням, тобто виявленням можливих наслідків зміни вібропараметрів. Основною проблемою є відсутність можливості розширення за рахунок вільного доступу до виміряних та обчислених параметрів за великий проміжок часу сторонніми системами.

**Мета статті.** Головною метою цієї статті є опис системи вібродіагностики турбоагрегату з виділенням параметрів, що необхідно контролювати при різних режимах роботи. Стаття спрямована на створення основи для проектного рішення системи вібродіагностики турбоустановок різного призначення з можливістю зберігання та обробки отриманих даних для прогнозування виходу з ладу обладнання. Ідея полягає в тому, щоб описати основні необхідні та достатні параметри для контролю та діагностики більшості установок, та розглянути один із можливих методів обміну інформації для збереження та обробки отриманих даних.

**Виклад основного матеріалу.** Для збору та обробки інформації необхідно обрати прилад, який зможе з достатньо високою точністю та швидкістю опитувати датчики вібрації. Крім того такий прилад повинен мати можливість передавати інформацію по універсальному протоколу обміну даними для взаємодії з системами візуалізації та диспетчеризації, чи напяму з хмарним сховищем в якому зберігатимуться всі виміряні величини за великий проміжок часу. Вирішення цієї проблеми відкриває можливість реалізації предиктивного інтелектуального аналізу за рахунок відслідковування зміни параметрів на значному проміжку часу, можливість в майбутньому обробити отримані дані програмними продуктами, що здатні з величезної кількості інформації виділити більш точні нові закономірності між зміною вібропараметрів та можливим дефектом в роботі турбоустановки. Предиктивний інтелектуальний аналіз полягає у прогнозуванні майбутнього поведіння об'єкту з метою прийняття оптимальних рішень по усуненню недоліків в роботі до моменту їх настання.

Для поставлених задач пропонується використання промислового комп'ютера на базі багатофункціональної плати АЦП/ЦАП з сигнальним процесором L-780M. Він має 14-ти розрядний АЦП з максимальною частотою перетворення 400 кГц. Завдяки наявності мережевої карти програмно реалізовано сервер Modbus для передачі даних по протоколу Modbus TCP, що дає можливість передавати поточні дані в інші системи збору інформації, у тому числі і у хмарне сховище рис. 1.

При дослідженні турбоагрегатів різного виду було виділено 4 експлуатаційні режими роботи

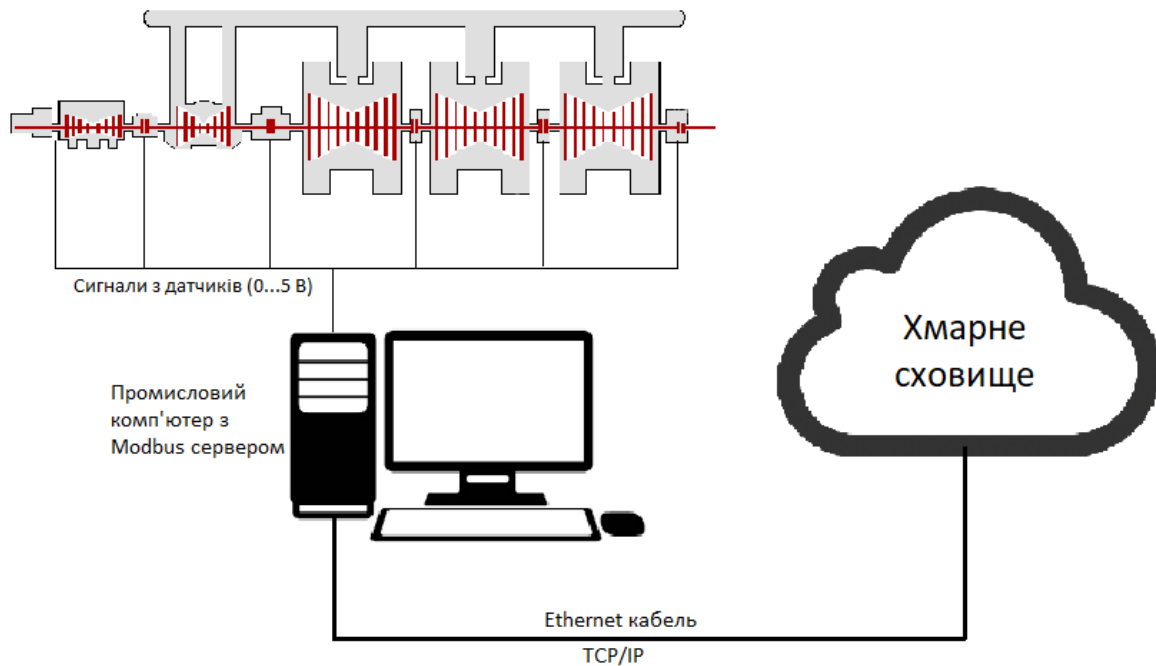


Рис. 1. Структурна схема передачі даних у хмарне сховище

при яких необхідно контролювати вібропараметри, а саме:

- режим навантаження;
- режим валоповороту;
- режим набору обертів;
- режим зупинки.

Режим навантаження – це номінальний режим роботи турбоустановки.

Режим валоповороту – режим пуску турбоустановки коли вона обертається на мінімальних обертах за рахунок валоповоротного пристрою.

Режим набору обертів – поступове збільшення частоти обертів при запуску турбоустановки після відключення валоповоротного пристрою до виходу на номінальний режим роботи.

Режим зупинки – поступове зменшення частоти обертів до зупинки турбоустановки.

Для контролю стану турбоагрегату у цих режимах спочатку необхідно розглянути які параметри потрібно обрахувати методом швидкого перетворення Фур'є з показів трьох вібродатчиків кожної опори (вертикального, горизонтального та осьового), а також двох датчиків валу (вертикальний та горизонтальний). Основні параметри, що необхідно розрахувати з датчиків опори:

- ефективна швидкість вібрації;
- гармонійні складові амплітуди віброшвидкості;
- фази гармонійних складових амплітуди віброшвидкості;
- середнє квадратичне значення низькочастотної вібрації;
- постійна складова віброшвидкості;
- середнє квадратичне значення високочастотної вібрації;
- розмах сумарного вібропереміщення.

Ці всі параметри необхідно обрахувати по кожному з трьох вібродатчиків встановлених на опорі підшипника.

З двох датчиків, що розташовані на валу необхідно обрахувати такі параметри:

- розмах вібропереміщення;
- гармонійні складові амплітуди вібропереміщення;
- фази гармонійних складових амплітуди вібропереміщення;
- розмах низькочастотної вібрації;
- координата спливання  $Z_x$ ;
- координата спливання  $Z_y$ ;
- статистичний проміжок між датчиком і валом;
- мінімальне значення динамічного проміжку;
- максимальне значення модуля вібропереміщення.

Для різних режимів роботи турбоустановки можна виділити основні дефекти, які можна діагностувати або попередити зробивши висновки з обрахованих параметрів показів датчиків вібродіагностики. Для більшості дефектів задаються граничні значення при перевищенні яких необхідно видавати попередження про небезпеку, але необхідно мати повну картину зміни вимірюваних вібрацій для подальшого аналізу. Також можна виділити небезпеки, які повинні відслідковуватись з плином часу. Так, наприклад, для режиму навантаження це:

- зростання вібрації з певною частотою;
- прискорення зростання вібрації з певною частотою.

Перша з них виникає по умові монотонного зростання першої гармонійної складової амплітуди віброшвидкості на задану величину за певний проміжок часу. Інша по умові монотонного зростання другої гармонійної складової амплітуди віброшвидкості на задану величину за певний проміжок часу. Крім цього на всіх режимах роботи є важливим слідкувати за показами низькочастотної вібрації, котра зв'язана з якістю центрування машини, балансуванням ротора та технічним станом з'єднувальних муфт.

Для режиму набору обертів є важливим слідкувати за зміною величини першої гармонійної амплітуди віброшвидкості та вібропереміщення, зміна яких характеризує перегин валу.

Для режиму валоповороту необхідно звернути увагу на вимір ефективної швидкості вібрації та розмаху вібропереміщення для виявлення несправності каналу виміру вібрації валу.

Для режиму зупинки потрібно слідкувати за сьомою складовою амплітуди вібропереміщення щоб мати можливість діагностувати просадку валу в підшипнику.

**Висновки і пропозиції.** Застосування запропонованої системи діагностики з можливіс-

тю передачі даних по відкритому уніфікованому протоколу Modbus TCP вирішує проблеми доступу допоміжних систем для прогнозування можливих несправностей та попередження аварійних ситуацій системи. Запровадження предиктивного аналізу усуває необхідність проведення планового періодичного ремонту, що в свою чергу зменшує час на обслуговування обладнання та звужує фронт робіт при позаплановому обслуговуванні.

### Список літератури:

1. Шульженко М., Метельов Л., Єфремов Ю. Технологія оцінювання розвитку вібронебезпечних дефектів турбоагрегату. *Машинознавство*. 2011. № 11–12. С. 173–174.
2. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации. Москва, 2010. 30 с.

### References:

1. Shulzhenko, M. Mietielov, L. & Yefremov, Yu. (2011). Tekhnolohiia otsiniuvannia rozvytku vibronebezpechnykh defektiv turboahrehatu [Technology of estimation of development of vibration-dangerous defects of the turbine unit]. *Mashynoznavstvo*, no. 11–12, pp. 173–174. (in Ukrainian)
2. Petruhin, V.V., & Petruhin, S.V. (2010). Osnovy vibrodiagnostiki i sredstva izmerenija vibracii [Fundamentals of vibration diagnostics and vibration measuring instruments]. Moscow: Infra-Engineering, 30 p. (in Russian)